

Simo Kohonen

Megasquirtin asennus ja säätö Opel B Asconaan

Opinnäytetyö
Auto- ja kuljetustekniikka


Toukokuu 2011




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

| | | | |
|---|---------------------------|--|--|
|  <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p> | | Opinnäytetyön päivämäärä 26.5.2011 | |
| Tekijä(t) Simo Kohonen | | Koulutusohjelma ja suuntautuminen Auto- ja kuljetustekniikka | |
| Nimeke Megasquirtin asennus ja säätö Opel B Asconaan | | | |
| Tiivistelmä <p>Työn kohteena oli Opel B Ascona, johon asensin polttoaineen suihkutusrjestelmän ja Megasquirt-moottorinohjauksen. Kohdeauton moottori oli mallimerkinnältään 2,0S, eli polttoaineseoksen muodostus oli toteutettu kaasuttimella. Lisäksi työssä oli tarkoitus tutkia, kuinka muutostyöt vaikuttivat pakokaasupäästöihin ja ajoneuvon kiihtyvyyteen.</p> <p>Kaasuttimilla varustetuissa moottoreissa ongelmana on niiden huono säädettävyys erilaisia käyttötilanteita varten. Tämän työn tavoitteena oli saada suhteellisen vanha moottori vastaamaan paremmin nyky-päivän vaatimuksia muun muassa päästöjen suhteen. Valitsin moottorinohjausrjestelmäksi Megasquirtin, koska sen monipuolinen säädettävyys ja suhteellisen halpa hinta olivat houkuttelevia.</p> <p>Minulla ei ollut aikaisempaa tietoa Megasquirtin kaltaisista jälkiasennettavista järjestelmistä, mutta toteutus onnistui mielestäni hyvin. Asennuksessa ja säätämisessä auttoi valmiina ollut tietämys tehdasasenteisista polttoaineen suihkutusrjestelmistä. Tutkin pakokaasupäästöjä pakokaasuanalysaattorilla ja kiihtyvyyttä Racelogic VBox II -laitteella. Mittaukset tehtiin ennen muutostöitä ja niiden jälkeen.</p> <p>Tuloksista voi todeta, että haitalliset pakokaasupäästöt pienenivät huomattavasti aikaisempaan verrattuna. Ajoneuvon kiihtyvyys parani myös hieman. Työ osoittaa, että jälkiasennettavalla moottorinohjauksella saavutetaan konkreettista hyötyä varsinkin vanhempiin autoihin asennettuna.</p> | | | |
| Asiasanat (avainsanat) Säätö, asennus, päästöt, polttomoottorit | | | |
| Sivumäärä 30 | Kieli Suomi | URN | |
| Huomautus (huomautukset liitteistä) | | | |
| Ohjaavan opettajan nimi Juhani Martikainen | | Opinnäytetyön toimeksiantaja | |

DESCRIPTION

| | | | |
|---|----------------------------|--|--|
|  <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p> | | Date of the bachelor's thesis 26 May 2011 | |
| Author(s) Simo Kohonen | | Degree programme and option Automotive and transport engineering | |
| Name of the bachelor's thesis Megasquirt installation and tuning to the Opel B Ascona | | | |
| Abstract In this work I studied how an aftermarket electronic control unit will affect to exhaust gas emissions and acceleration of relatively old car. Subject of this project was Opel Ascona B with a carburettor engine. At first I had to change the carburettor to the electronic fuel injection system. Then I installed Megasquirt which controls to injection of fuel. After installation I tuned Megasquirt with Megatune computer program. I measured emissions with exhaust gas analyzer and acceleration with Racelogic VBox measuring device. I did the measurements before and after changes. At the results it can be seen that harmful emissions reduced significantly and acceleration of the vehicle increased slightly. Relatively old car can be easily changed to meet better nowadays demands with an aftermarket fuel injection control unit. | | | |
| Subject headings, (keywords) | | | |
| Pages 30 | Language Finnish | URN | |
| Remarks, notes on appendices Tuning, installation, emissions, combustion engines | | | |
| Tutor Juhani Martikainen | | Bachelor's thesis assigned by | |

SISÄLTÖ

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | JOHDANTO | 2 |
| 2 | OTTOMOOTTORIN TOIMINNAN EDELLYTYKSET | 3 |
| 2.1 | Seoksen muodostus..... | 3 |
| 2.2 | Sytytysjärjestelmä..... | 5 |
| 3 | TEHDASASENTEISIA SUIHKUTUSJÄRJESTELMIÄ..... | 7 |
| 3.1 | K-Jetronic | 7 |
| 3.2 | L-Jetronic | 8 |
| 3.3 | Motronic | 9 |
| 4 | MEGASQUIRT..... | 12 |
| 4.1 | Polttoaineen suihkutus | 14 |
| 4.2 | Sytytyksen ohjaus | 14 |
| 5 | AUTON OMINAISUUDET ENNEN MEGASQUIRTIN ASENNUSTA | 14 |
| 5.1 | Pakokaasupäästöt..... | 15 |
| 5.2 | Ajoneuvon kiihtyvyys..... | 16 |
| 6 | MEGASQUIRTIN ASENNUS | 17 |
| 6.1 | Mekaaniset muutokset | 17 |
| 6.2 | Johtosarja | 19 |
| 7 | MEGASQUIRTIN SÄÄTÄMINEN MEGATUNE OHJELMALLA | 20 |
| 7.1 | Perussäädöt | 20 |
| 7.2 | Polttoainekartta ja siihen vaikuttavat tekijät..... | 22 |
| 8 | MEGASQUIRTIN VAIKUTUKSET AJONEUVON OMINAISUUKSIIN | 25 |
| 8.1 | Pakokaasupäästöt..... | 25 |
| 8.2 | Ajoneuvon kiihtyvyys..... | 26 |
| 9 | POHDINTA | 27 |
| | LÄHTEET..... | 30 |

LIITTEET

Liite 1. Päästötestin tuloste kaasuttimella

Liite 2. Päästötestin tuloste suihkutusjärjestelmällä

JOHDANTO

Nykyisten ajoneuvojen moottorinohjaus tapahtuu pääsääntöisesti ruiskutekniikalla ja elektronisella moottorinohjauksella. Näiden avulla saavutetaan kaasuttimella varustettuun moottoriin verrattuna monin verroin parempi säädettävyyys ja käyttövarmuus. Lisäksi nykyiset päästönormit ovat helpompia täyttää.

Opinnäytetyön aiheena on ruiskutekniikan ja tietokoneella säädettävän moottorinohjauksen asentamisen vanhaan kaasuttimella varustettuun autoon, koska työssä on tarkoitus tutkia, kuinka muutostyöt vaikuttavat ajoneuvon ominaisuuksiin. Moottorinohjaukseksi valikoitui Megasquirtin, koska sen halpa hankintahinta oli houkutteleva. Polttoaineensuihkutusjärjestelmien paremman ymmärtämisen vuoksi tässä työssä tutustutaan myös yleisimpiin tehdasasenteisiin järjestelmiin. Lisäksi työssä tarkastellaan muutostöiden vaikutuksia kiihtyvyyteen ja pakokaasupäästöihin. Kiihtyvyyttä mitataan Racelogic VBOX -laitteella. Pakokaasupäästöjen mittaamiseen käytetään pakokaasuanalysaattoria.

Kohdeautona on tässä työssä Opel Ascona B vuosimallia 1979. Autossa on 2,0S-moottori. Muutostöiden tarkoituksena ei ole välttämättä maksimaalinen tehon lisäys, vaan se, että auto saadaan vastamaan hieman paremmin nykypäivän ajoneuvoja. Ruiskutustekniikan asentamisella on tarkoitus tavoitella myös parempaa toimintavarmuutta eri käyttöolosuhteissa. Muutostöillä odotetaan myös saavutettavan alhaisemmat päästöt.

Työn käydään läpi polttomoottorin toiminnan edellytyksiä ja muutamia tehdasasenteisia polttoaineen suihkutusrakenteita. Tämä auttaa ymmärtämään suihkutusrakenteiston toiminnan edellyttämiä vaatimuksia ajoneuvoa kohtaan. Tämän jälkeen työssä selvitetään auton ominaisuuksia ennen muutostöitä. Seuraavaksi selostetaan ajoneuvoon tehdyt muutokset, jonka jälkeen vertaillaan, kuinka ajoneuvon ominaisuudet ovat muuttuneet.

1 OTTOMOOTTORIN TOIMINNAN EDELLYTYKSET

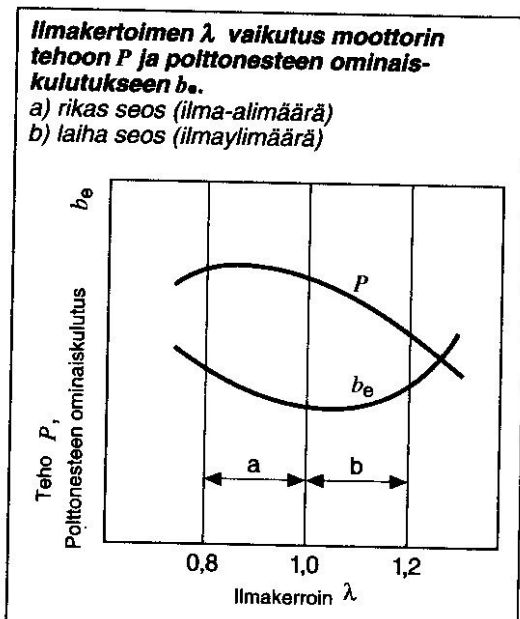
Toimiakseen ottomoottori tarvitsee sopivan ilma-polttoaineseoksen ja sen syttymiseen tarvittavan kipinän sylinteriin oikealla hetkellä. Moottorin ominaisuudet riippuvat hyvin suurelta osin siitä, miten hyvin sytytystulpassa muodostuvan kipinän ajoitus saadaan säädettyä kussakin kuormitustilanteessa. Toinen moottorin ominaisuuksiin vaikuttava tekijä on seoksen muodostaminen. Seoksen muodostamiseen vaikuttavat imuilman joukkoon suihkutettavan polttoaineen määrä ja oikea ajoitus, jolloin polttoainetta suihkutetaan.

1.1 Seoksen muodostus

Polttonesteen täydellisessä palamisessa tarvitaan noin 14,7 kilogrammaa ilmaa yhtä kilogrammaa polttoainetta kohti. Tilavuusmitoiksi muutettuna vastaava suhde on 9500 litraa ilmaa yhtä polttonestelitraa kohti. Tällaista seosta kutsutaan niin sanotusti stökiometriseksi seokseksi. /1, s. 498./

Ilma-polttonesteseos vaikuttaa oleellisesti moottorin ominaiskulutukseen. Todellisuudessa täydelliseen palamiseen tarvitaan ilmaylimäärä. Ilmaylimäärä rajoittavat kuitenkin palamisen vaatima aika ja seoksen syttymiskelpoisuus. Ilma-polttonesteseos vaikuttaa ratkaisevasti myös päästöjen muodostumiseen ja pakokaasujen puhdistuslaitteiden toimintaan. Käytettäessä moottoria stökiometrisellä seoksella voidaan puhdistaa haitallisista pakokaasukomponenteista jopa 98 prosenttia pois. /1, s.498./

Ilmakertoimella λ kuvataan todellisen moottoriin imetyn ilmamassan ja stökiometrisen seossuhteen vaativan ilmamäärän välistä eroa. Lambdan arvolla yksi moottoriin imetty ilmamassa vastaa teoreettista ilmamassaa. Jos seos on ilmaylimääräinen, lambda on yli yksi, ja seoksen ollessa ilma-alimääräinen eli rikas on lambda alle yksi. Ottomoottoreissa saavutetaan suurin teho yleensä hieman rikkaalla seoksella, eli lambdan arvolla 0,95...0,85. Alhaisin polttonesteen kulutus saavutetaan taas hieman laihalla seoksella, eli lambdan arvolla 1,1...1,2. Seuraavalla sivulla olevasta kuvasta 1 näkyy, että ilmakertoimen arvo yksi on kompromissi polttoaineen kulutuksen ja moottorin tuottaman tehon suhteen. /1, s. 498./



KUVA 1. Ilmakertoimen vaikutus polttonesteen ominaiskulutukseen ja tehoon /1, s. 498/

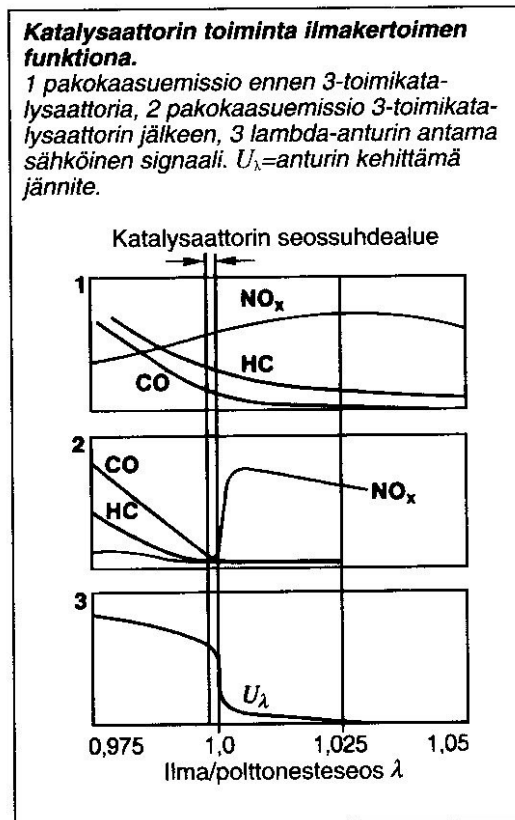
Suihkutusjärjestelmän tehtävänä on muodostaa moottorin kuhunkin käyttötilanteeseen parhaiten sopiva seos. Elektronisilla suihkutussuhteelluksilla pystytään hallitsemaan hyvin seoksen koostumusta. Täten saavutetaan myös hyvä kompromissi ajettavuuden, suorituskyvyn ja polttonesteenkulutuksen suhteen. Tällä hetkellä käytössä on yleisimmin suihkutussuhteellukset, jossa seos muodostetaan palotilan ulkopuolella imusarjassa. /1, s. 499./

Polttoaineen suihkutussuhteelluksissa polttoainesuutinta voidaan kutsua myös eräänlaiseksi magneettiventtiiliksi. Suutinta ohjataan pulssitetulla virralla. Pulssin leveys eli ajallinen kesto määrää, kuinka kauan suutin on auki. Pulssien välisen osan ajan suutin on jousivoiman avulla kiinni. Suuttimen auki- ja kiinnioloaikojen suhdetta voidaan kutsua pulssisuhteeksi. Syötettävän polttoaineen määrän voidaan vaikuttaa pulssin kestolla, esiintymistiheydellä tai molemmilla.

Polttoaineen suihkutussuhteelluksen tehtävänä on myös pitää ilmapolttoaineseos erittäin ahtaalla seosalueella. Tämä tarkoittaa, että lambda-arvon on oltava käytännössä 1 ja sallittu vaihteluväli on 0,005 suuntaan tai toiseen. Tätä kapeaa seosaluetta voidaan kutsua myös katalysaattori-ikkunaksi.

Seuraavalla sivulla olevasta kuvasta 2 voi nähdä, että nykyiset kolmitoimikatalysaattorit toimivat erittäin kapealla seossuhteen alueella. Liian rikkaalla seossuhtealueella

oltaessa hiilimonoksidi- (CO) ja hiilivetypäästöjen (HC) puhdistaminen on tehotonta. Liian laihalla seossuhdealueella katalysaattori ei puhdistu typenoksideja (NO_x) käytännössä lainkaan. Tiukentuneet päästönormit ja pienempiin päästöihin pyrkiminen aiheuttivat osaltaan sen, että kaasuttimista seoksenmuodostajina alettiin luopua.



KUVA 2. Katalysaattorin toiminta ilmakertoimen funktiona /1, s. 566/

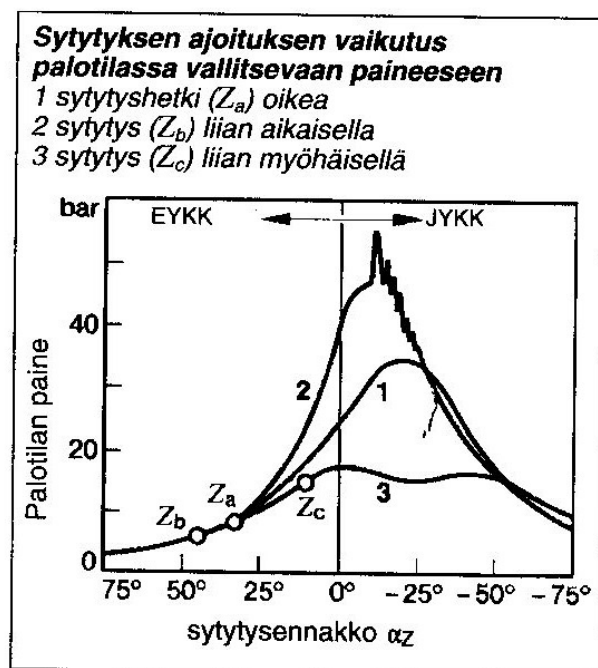
1.2 Sytytysjärjestelmä

Sytytysjärjestelmän tehtävänä on saada puristettu ilma-polttonesteseos syttymään oikealla hetkellä. Puristetun polttoaine-ilmaseoksen sytyttämiseen tarvitaan 4-15 kilovoltin jännite sylinterissä vallitsevassa paineessa. Sytytysjärjestelmän on tuotettava yli 20 kilovoltin jännite, jotta kipinän tuotto taataan kaikissa tilanteissa. /4, s. 348./

Onnistuneella sytytyksen ohjauksella on myös suuri merkitys moottorin ominaisuuksiin. Sytytyksen ohjausjärjestelmän on huolehdittava sytytyspuolalle tulevan ensiövirran kytkeminen ja katkaisu. Tämän lisäksi ohjausjärjestelmän on säädettävä oikea sytytyshetki moottorin jokaisen käyttötilanteen mukaiseksi. Korkeajännitesysäyksen jakaminen oikeassa järjestyksessä eri sylintereihin on myös sytytysjärjestelmän tehtävä. /4, s.352./

Oikean sytytyshetken valinnassa on otettava huomioon seuraavien vaatimusten täyttyminen: maksimi moottorin teho, pieni polttoaineen kulutus ja puhtaat pakokaasut. Nämä kaikki vaatimukset eivät ole yhtäaikaaisesti täytettävissä, joten on tehtävä kompromissiratkaisuja. Edullisimpaan sytytyshetkeen vaikuttaa monet eri tekijät. Moottorin kuormitus, pyörintänopeus, rakenne, käytettävä polttoneste ja erikoiskäyttötilanteet, kuten kylmäkäynnistys, ovat esimerkiksi tällaisia tekijöitä. /1, s. 518./

Ajettaessa täydellä kuormalla on kaasuläppä täysin auki. Tällöin moottorin pyörintänopeus kasvaa ja sytytyshetkeä on siirrettävä jatkuvasti hieman aikaisemmalle, jotta palamispaine saadaan optimoitua moottorin tehoon nähden oikeaksi. Ajettaessa osakuormalla on kaasuläppä vain osittain auki. Ilma-polttonesteseos on laihempi ja huonompi syttymään. Sytytyshetkeä on siirrettävä vielä aikaisemmalle, jotta saadaan pidempi sytytysaika. /1, s. 518./



KUVA 3. Sytytyksen ajoituksen vaikutus palotilassa vallitsevaan paineeseen /1, s. 519/

Yläpuolella olevassa kuvassa 3 näkyy oikean sytytyshetken merkitys polttoaineen palamiseen sylinterissä. Kuten käyrä numero kaksi osoittaa, liian aikainen sytytys aiheuttaa hallitsemattoman palamisen ja korkeita painehuippuja sylinteriin, josta voi olla seurauksena moottorin hajoaminen. Käyrästä kolme voi taas todeta sytytyksen olevan liian myöhäisellä, jolloin polttoneste ei ehdi palaa tehokkaasti, eikä sylinterissä oleva

paine pääse kehittymään riittävästi. Tämän seurauksena moottorin tuottama teho heikenee.

2 TEHDASASENTEISIA SUIHKUTUSJÄRJESTELMIÄ

Tässä osiossa käsittelen autotehtaiden asentamia suihkutusjärjestelmiä. Tarkastelu rajoittuu Boschin eri versioihin, mutta muut valmistajat käyttävät hyvin pitkälle samanlaisia ratkaisuja. Autotehtaiden suihkutusjärjestelmät ovat yleensä kompromisseja, jossa on huomioitu alhainen polttoaineen kulutus, miellyttävät käyttöominaisuudet ja kohtuullinen teho. Autotehtaalla laitettuihin ohjausyksiköihin on jälkikäteen yleensä hankala tehdä muutoksia.

2.1 K-Jetronic

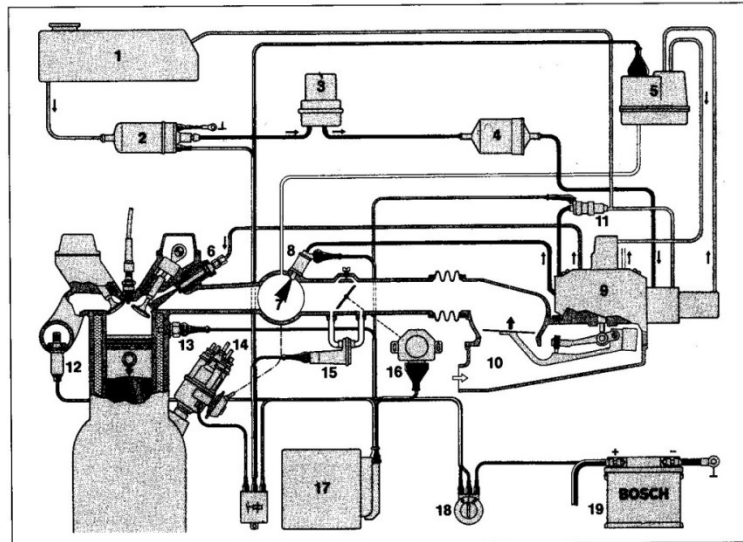
K-Jetronic -järjestelmä huolehtii vain polttoaineen annostelusta. Polttonesteen tuotto tapahtuu sähköisellä polttoainepumpulla, joka tuottaa noin 4 baarin paineen. Polttonesteen annostelu kullekin sylinterille tapahtuu niin sanotun määränjakajan avulla. Järjestelmä on paluukierroellinen, eli ylimääräinen polttoaine johdetaan takaisin säiliöön. /4, s. 477./

Järjestelmässä on ilmakartio, jonka asema muuttuu moottoriin imetyn ilman määrän mukaisesti. Kartiosta lähtevä vipu vaikuttaa määränjakajan männän sijaintiin. Männän asemalla säädetään annosteltavaa polttoaineen määrää. /4, s. 478./

Määränjakajassa on moottorin sylintereitä vastaava määrä kammiopareja. Alemmassa kammiossa on järjestelmässä vallitseva paine ja ylemmässä kammiossa on 0,1 baaria pienempi paine. Kammioden paine-ero pysyy vakiona, jolloin polttoaineen määrään vaikuttaa annosteluaukon koko. Annosteluaukon kokoa taas pystyttiin säätämään ylempänä mainitun määränjakajan männän avulla. /1, s. 508; 4, s. 478./

K-Jetronic -järjestelmässä suuttimien avautumispaine on noin 3,8 baaria. Suutin sulkeutuu ja avautuu 1500 kertaa sekunnissa. Ohjauspainesäätimellä voidaan alentaa järjestelmän ohjauspainetta. Tällä tavoin voidaan hoitaa moottorin erikoiskäyttötilanteita kuten lämpimäksi käyttö, kiihdytysrikastus ja täyskuormarikastus. Järjestelmässä on

myös lisäilmaluisti, joka sijaitsee kaasuläpän ohittavassa kanavassa. Luistilla säädetään kanavan poikkipinta-alaa, ja sillä voidaan korottaa joutokäyntiä käytettäessä moottoria lämpimäksi. Kylmäkäynnistyksessä vaadittava seoksen rikastus tapahtuu sähköisen suihkutusventtiilin avulla. Suihkutusventtiiliä ohjataan lämpöaikakytkimellä. /1, s. 508; 4, s. 479./



KUVA 4. K-Jetronic -järjestelmän rakenneperiaate /1, s. 507/

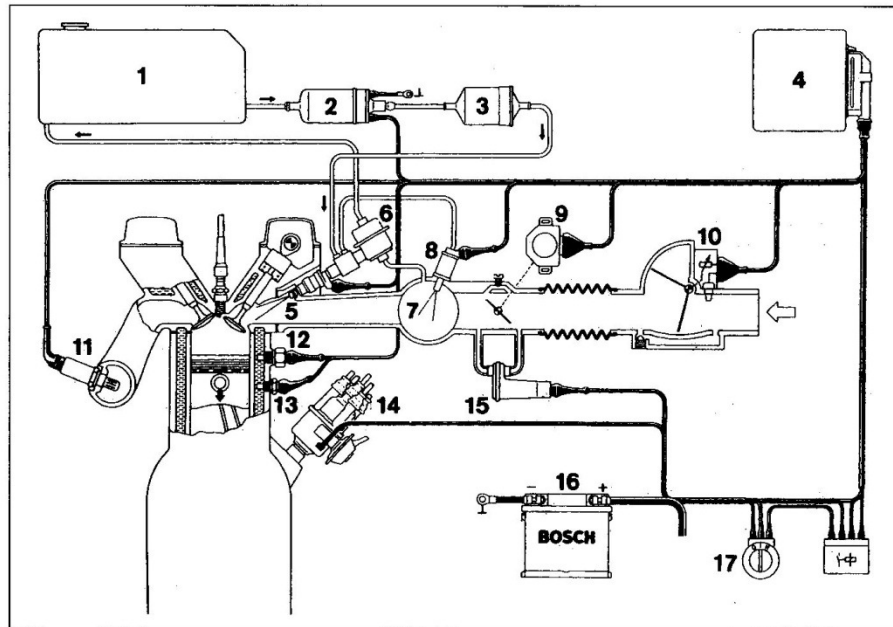
Yläpuolella olevassa kuvassa 4 näkyy järjestelmän pääkomponentit. Numero 10 on ilmamääränmittari, joka vaikuttaa määränjakajaan numero 9. Lisäilmaluisti on numero 15 ja kylmäkäynnistys venttiili on numero 8. Ohjauspaineen säädin on numero 5. Ohjauselektroniikka osallistuu hyvin vähän polttoaineen annosteluun, joten kyseessä on hyvin suurelta osin mekaaninen suihkutusjärjestelmä.

2.2 L-Jetronic

L-jetronic -järjestelmässä polttoaineen suihkutusta säädetään moottoriin imetyn ilmamäärän ja moottorin pyörintänopeuden perusteella. Jokainen suutin suihkuttaa polttonestettä kerran kampiakselin yhden pyörähdysen aikana. Polttonestemäärää säädetään pelkästään suuttimen aukioloajan perusteella. Tämä vaatii suuttimiin polttoaineen jakoputken ja paineensäätimen, joka pitää jakoputken ja imusarjan paine-eron vakiona. /4, s. 480./

Ilmamäärän mittausta tapahtuu ilmamäärämittarilla. Mittarissa on läppä, joka siirtyy virtauksen edellyttämään asemaan. Potentiometrillä saadaan läpän asema muutettua

sähköiseksi signaaliksi. Ilmamäärämittarissa on yleensä myös imuilman lämpötilan mittaukseen tarvittava anturi. Kaasuläpän yhteydessä on tunnistin, joka antaa signaalin kiinni ja täysin auki asennoissa. Moottorin lämpötila tunnistetaan lämpötilan mukaan resistanssiaan muuttavalla vastuksella. Näiden anturitietojen perusteella ohjainlaite laskee sopivan ajan suihkutussventtiilien aukiololle. /4, s.481./



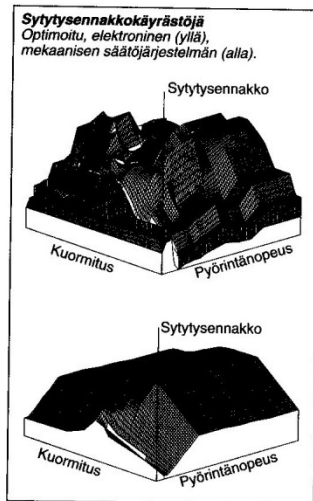
KUVA 5. L-Jetronic -järjestelmän rakenne /4, s. 480/

Yläpuolella kuvassa 5 numero 10 on läppätyyppinen ilmamäärämittari ja numero 9 on kaasuläpän asentotunnistin. Lisäilmaluisti numero 15 ja sähköinen käynnistysventtiili numero 8 ovat samanlaiset kuin K-Jetronic -järjestelmässä. K-jetronic -järjestelmään verrattuna mekaaniset osat ovat pääosin vaihtuneet antureihin ja toimilaitteisiin.

2.3 Motronic

Motronic -järjestelmä alkoi yleistyä ajoneuvoissa 1980-luvun alkupuolella. Poiketen aiemmista järjestelmistä Motronic ohjaa sytytyksen ensiövirtaa, polttoaineen syöttöä ja joutokäyntiä. Järjestelmän etuna on se, että sytytyshetkeä ja polttoaineen annostelua pystytään säätämään tarkasti kulloisenkin moottorin käyttötilanteen mukaan. Motronic järjestelmällä pystytään sopeuttamaan myös joutokäynti oikeaksi eri kuormitustilanteista riippuen. /3, s. 6.4./

Ohjatakseen sytytystä, Motronic järjestelmä tarvitsee tietoa moottorin kuormitustilasta. Moottorinohjaus laskee eri anturitietojen perusteella tarvittavan sytytysennakon. Tarvittavat anturit ovat imusaran absoluuttista painetta mittaava anturi, moottorin asentotunnistin anturi, moottorin lämpötila-anturi ja kaasuläpän asentotunnistin. Joihinkin kokoonpanoihin on lisätty vielä nakutustunnistin, jolloin sytytysennakko säädetään niin sanotulle nakutusrajalle. /3, s. 6.5./



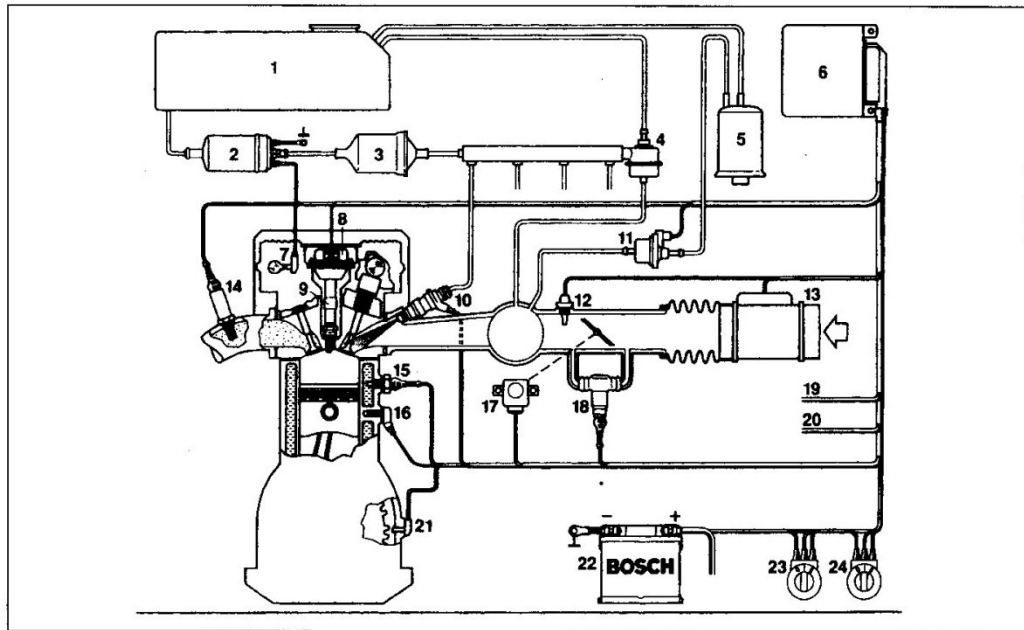
KUVA 6. Sytytysennakkokäyrästöt /1, s. 534/

Ylhäällä kuvassa 6 näkyy selvästi elektronisen sytytyksenohjauksen ja mekaanisen sytytyksenohjauksen erot. Sytytystä säädetään kolmiulotteisen x-, y-, z-koordinaatiston avulla. Kuvassa ylempi koordinaatisto on elektronisen ohjausyksikön säätökäyrästö, joka mahdollistaa tarkemman ohjauksen kuhunkin moottorin käyttötilanteeseen. Alempi käyrästö on tasaisempi, mikä johtuu mekaanisen sytytyksenohjauksen rajoituksista.

Motronic -järjestelmä laskee tarvittavan suuttimien aukioloajan moottorin pyörintänopeuden ja kuormituksen perusteella. Tiedot pyörintänopeutta ja kuormitusta varten kerätään samoilla antureilla, jotka mainitsin aiemmin sytytyksenohjauksen yhteydessä. Näiden lisäksi moottorin imetyn ilmamassan määrää mitataan vielä kuumalanka-tyyppisellä ilmamassamittarilla. Laskutoiminnot tehdään ennalta määritettyjen ominaiskäyrästöjen avulla, ja käyrästöjen lisänä käytetään usein takaisinkytkettyjä säätöjä. Näitä säätöjä ovat muun muassa lambda-säätö ja nakutuksen esto. /2, s. 144./

Motronic -järjestelmässä on yksi suihkutussuutin jokaista sylinteriä kohden. Kaikkia suuttimia ohjataan samanaikaisesti kaksi kertaa jokaista moottorin työkiertoa kohti.

Puolet moottorin työkierron tarvitsemasta polttoainemäärästä suihkutetaan vastaavasti jokaista kampiakselin kierrosta kohti. Ilmapolttonesteseoksen seossuhteeseen voidaan vaikuttaa muuttamalla suuttimia ohjaavaa sähköpulssia. Seosta voidaan esimerkiksi rikastaa kasvattamalla pulssin kestoaikaa tai nostamalla pulssien esiintymistajuuutta Motronic -järjestelmän suihkutusosa on L-Jetronicin kaltainen, mutta tietojen käsittely tapahtuu täysin digitaalisesti./3, s. 6.6./



KUVA 7. Motronic-järjestelmän periaate /4, s. 489/

Yläpuolella olevassa kuvassa 7 tärkeimpiä komponentteja ovat sytytyspuola (8), suihkutussuutin (10), imuilman lämpötila-anturi (12), ilmapainemittari (13), kaasuläpän asentoanturi (17), lambda-anturi (14), nakutuksen tunnistin, (16) kampiakselin asento-tunnistin (21), joutokäyntimoottori (18), ja ohjainlaite (6). Motronic -järjestelmässä myös sytytyksen ohjaus voidaan toteuttaa ilman mekaanisia osia, kuten kuvassa 6 näkyy. Ratkaisun etuina ovat muun muassa kasvanut käyttövarmuus ja huoltotoimenpi-teiden tarpeettomuus.

Aiempiin järjestelmiin verrattuna Motronicilla voidaan ohjata myös lisätoimintoja. Käyntinopeuden rajoitus tapahtuu katkomalla suihkutuspulsseja, jos moottorikohtai-nen ylin sallittu pyörintänopeus ylitetään. Polttoaineen syötön katkaisu tapahtuu oh-jaamalla polttoainepumpun relettä ohjainlaitteen pääteasteella. Ohjainlaitteelle on oh-jelmoitu tietty moottorin pyörintänopeus, jonka alapuolella polttoainepumppu ei saa virtaa. Pakokaasupäästöjen kannalta tärkeä lisätoiminto on pakokaasujen takaisinkier-

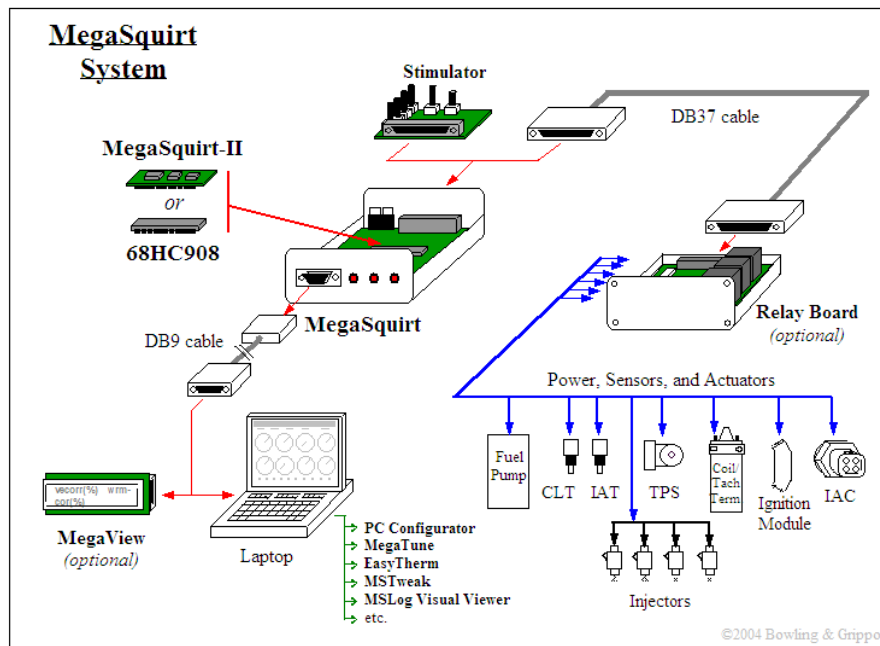
rätysventtiilin ohjaus. Kierrättämällä osan pakokaasuista saadaan haitallisia typenoksidipäästöjä pienennettyä. Myös sähköinen kaasupoljin ilman vaijeriyhteyttä on mahdollista toteuttaa Motronicilla. /2, s. 150./

Edellisten toimintojen lisäksi Motronicissa on valmius myös automaattivaihteiston ohjaamiseen. Laskentasuureina käytetään ilmamäärää, kaasuläpän asentoa, moottorin pyörintänopeutta, vaihteiston pyörintänopeutta, vaihteenvaihtimen asento ja ns. kick-down-kytkimen asentoa. Ohjausjärjestelmä ohjaa vaihteiston paineensäädintä ja solenoidiventtiileitä. Motronicin avulla ohjattu vaihteisto on mahdollista ohjelmoida vaihtamaan erilaisten esiasetusten mukaisesti. /2, s. 150./

3 MEGASQUIRT

Megasquirt on Bruce Bowlingin ja Al Grippon kehittämä tee-se-itse -moottorinohjaus, joka toimii missä tahansa ottomoottorissa, joka on varustettu polttoaineen suihkutusrakennelmällä. Verrattuna muihin tehdasasenteisiin polttomoottoreihin Megasquirtin joustavuus perustuu sen monipuolisiin ohjelmointimahdollisuuksiin. Megasquirt-moottorinohjaukseen on mahdollista luoda yksilöllisten tarpeiden mukaiset polttoaine- ja sytytyskartat omalla tietokoneella. Mikrokontrollerin ohjelmointi ei vaadi tietokoneohjelmakielen osaamista, koska Megasquirtin säätämiseen on monia valmiita tietokoneohjelmia, kuten Megatune.

Megasquirtin suhteellisen halpa hankintahinta tekee siitä myös houkuttelevan vaihtoehtona muille jälkiasennusmoottorinohjausrakennelmille. Megasquirtia myydään rakennussarjoina, jolloin ostaja kasaa tarvittavat sähkökomponentit itse piirilevylle. Viime aikoina markkinoille on tosin tullut valmiiksi kasattuja piirilevyjä, jotka on toteutettu pintaliitoskomponentteja käyttäen. Megasquirtilla ei luonnollisesti ole mitään takuuta tai virallista tukea tarjoavaa tahoa. Ongelmatilanteissa tukea saa Internetin keskustelupalstoilta ja virallisilta Megasquirtin web-sivuilta.



KUVA 8. Megasquirt-moottorinohjauksen peruskomponentit /5/

Yläpuolella olevassa kuvassa 8 esitetään Megasquirtin peruskomponentit. Kuvasta näkyy, kuinka Megasquirtin ohjelmointi onnistuu vaikkapa tavallisella kannettavalla tietokoneella. Itse moottorinohjauslaitteen lisäksi Megasquirt tarvitsee sähköisen polttoainepumpun, jäähdytysnesteen lämpötilatunnistimen, imuilman lämpötilatunnistimen, kaasuläpän asentotunnistimen ja sähköisesti ohjattavat polttoainesuuttimet. Valinnaisia lisätoimintoja voivat olla muun muassa askeltyyppinen joutokäyntimoottori ja sytytysmoduuli, jota ohjaamalla voidaan ohjata sytytystä.

Valinnaisia lisälaitteita järjestelmässä ovat muun muassa MegaView, jonka näytölle saadaan reaaliaikaista tietoa moottorin tapahtumista. Muita lisälaitteita ovat Stimulator ja Relayboard. Stimulatorin avulla voi testata Megasquirtin toimintaa ilman, että moottorinohjaus on autossa paikallaan. Relayboard helpottaa johtosarjan tekemistä moottorinohjauksen, antureiden ja toimilaitteiden välillä.

Megasquirt -moottorinohjausjärjestelmästä on saatavilla useaa eri versiota. Prosessoreista on valittavana kolme eri kehitysversiona, joista numero kolme on uusin vasta markkinoille tullut versio. Piirilevyistä on valittavana versiot 2.2, 3.0 ja 3.75. Versiot 2.2 ja 3.0 ovat itse koottavia, kun taas versio 3.75 on valmiiksi koottu pintaliitoskomponenteilla toteutettu versio. Tässä projektissa käytetään Megasquirt II -prosessoria ja version 3.75 piirilevyä. /5./

3.1 Polttoaineen suihkutus

Moottoriin suihkutettavaan polttoaineen määrään vaikuttaa polttoainesuuttimia ohjaava pulssin leveys. Mitä leveämpi pulssi, toisin sanoen pitempikestoinen sähkövirta, sitä enemmän polttoainetta pääsee virtaamaan. Megasquirt laskee oikean pulssin leveyden hyödyntämällä kaasun tilanyhtälöä, mitattuja anturiarvoja ja käyttäjän määrittämiä parametreja. Tämän tyyppinen suihkutuksen ohjaus edellyttää, että suuttimien takana olevassa polttoainelinjastossa vallitsee vakioaine. Tämä saadaan aikaan polttoainelinjassa olevalla paineensäätimellä, joka ottaa ohjauspaineen imusarjasta.

Toisin kun tehdasasenteisissa suihkutussuoritusjärjestelmissä, Megasquirt ei vaadi toimiakseen ilmamassamittaria. Tarvittavia anturitietoja ovat imusarjan paine, imuilman lämpötila, moottorin lämpötila ja pyörintänopeus.

3.2 Sytytyksen ohjaus

Megasquirtin avulla sytytysennakko voidaan ohjelmoida täysin käyttäjän toiveiden mukaisesti. Megasquirt-II- ja Megasquirt-III -prosessoreilla voidaan ohjata perinteistä yhden puolan ja virranjakajan järjestelmää sekä niin sanottua hukkakipinäjärjestelmää että yksittäispuolajärjestelmää.

Megasquirtissa laskenta sytytysennakon säädöstä perustuu tietoihin moottorin kierrosluvusta, imusarjan alipaineesta, jäähdytysnesteen ja imuilman lämpötilasta. Nämä tiedot mahdollistavat sytytysennakon säädön ottaen täysin huomioon moottorin kuormituksen ja mekaanisen aseman. Megasquirtilla on mahdollista säätää myös turboahtimella varustettujen moottoreiden sytytystä. /5./

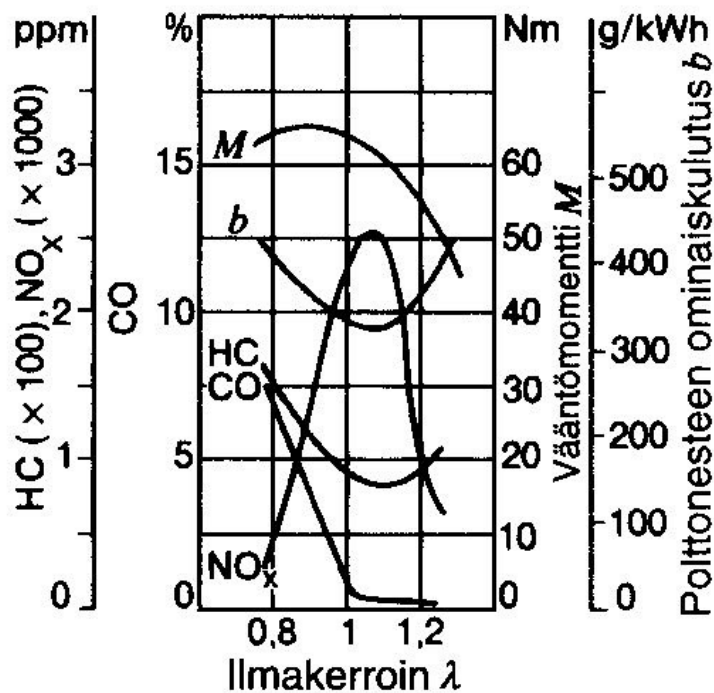
4 AUTON OMINAISUUDET ENNEN MEGASQUIRTIN ASENNUSTA

Tässä osiossa käsitellään ajoneuvon ominaisuuksia ennen polttoaineen suihkutussuoritusjärjestelmän ja Megasquirtin asennusta. Tarkasteltavia ominaisuuksia ovat pakokaasupäästöt ja ajoneuvon kiihtyvyys. Näiden ominaisuuksien lisäksi olisi ollut mielenkiintoista tutkia, miten muutostyöt olisivat vaikuttaneet polttoaineen kulutukseen ja moottorista saatavaan tehoon. Näiden ominaisuuksien tarkasteluun ei ollut tällä kertaa käytettävissä mittatarkkuudeltaan riittäviä mittareita ja laitteita.

4.1 Pakokaasupäästöt

Pakokaasuanalysaattorilla mitattavia pakokaasupäästöjä ovat hiilivedyt (HC), hiilimonoksidi (CO), hiilidioksidi (CO₂) ja happi (O₂). Koska projektin auto on vuosimallia 1979, se kuuluu pakollisen vuosittaisen pakokaasumittauksen piiriin. Tämän ikäisellä autolla riittää tosin, että päästöt mitataan vain joutokäynnillä.

Sallitut ja mitatut arvot näkyvät liitteestä 1. Mittaus kuuluu suorittaa lämmentyneestä moottorista, ja pyörintänopeuden tulee olla 550–1000 kierrosta minuutissa. Tällöin CO-päästöt saavat olla 4,5 tilavuusprosenttia pakokaasuista ja hiilivetypäästöt saavat olla 1000 ppm. Näiden arvojen lisäksi mittaustestissä ilmenevä O₂, eli niin sanottu jälkihappi, saa olla enintään 5 tilavuusprosenttia. Hiilidioksidin määrälle ei ole asetettu ylärajaa.



KUVA 9. Ilmakertoimen vaikutus eri päästökomponentteihin /1, s. 562/

Yläpuolella olevan kuvan 9 käyrien avulla voi pakokaasut mittaamalla päätellä muun muassa sen, minkälaisella seoksella moottori käy. Projektiautosta mitattu CO-arvo 3,29 tilavuusprosenttia ja HC-arvo 843 ppm viittaavat siihen, että ilmakerroin oli mieluummin rikkaan kuin laihan puolella. Kaasutinmoottorissa halutun ilmakertoimen säätäminen eri käyttötilanteisiin on rajoittunutta kaasuttimen mekaanisten ominaisuuksien vuoksi. Yläpuolella olevasta kuvasta nähdään lisäksi se, että polttoaineen

kulutus on alhaisimmillaan hieman yli yhden ilmakertoimella. Kuvassa näkyy myös NO_x-käyrä, joka kuvastaa typenoksidien määrän suhdetta ilmakertoimeen. Typenoksidit eivät ole mitattavissa perinteisillä pakokaasuanalysointilaitteilla.

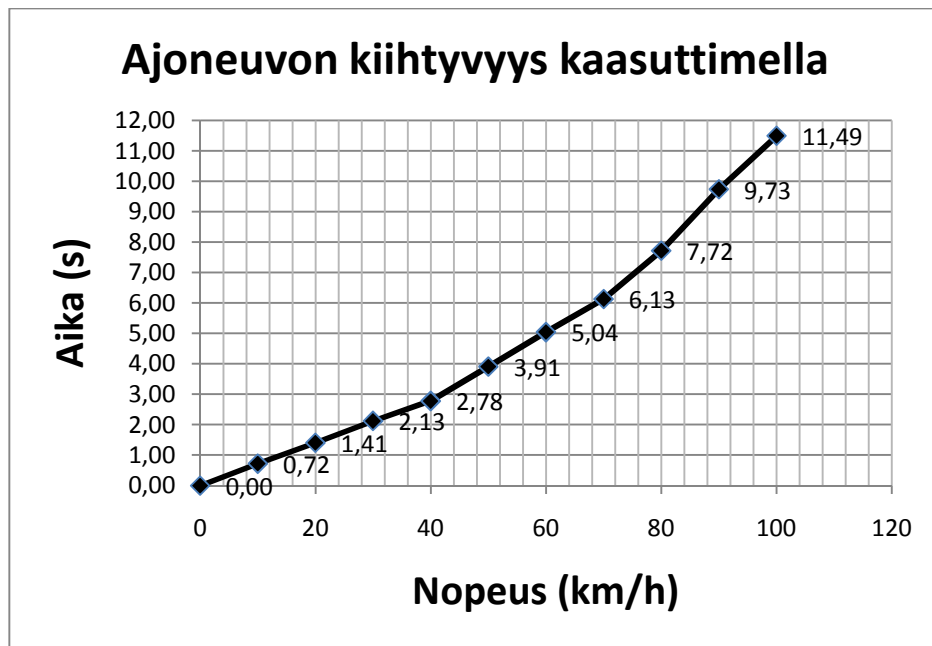
Polttoaineen syöttötavan lisäksi päästöihin vaikuttaa myös muu moottorin suunnittelu. HC-päästöihin voidaan vaikuttaa suurelta osin palotilan muotoilulla ja sytytystulpan sijoittelulla. Projektiauton moottori edustaa vanhaa suunnittelua, eikä sytytystulppa ole palotilan keskellä, vaan sivussa. Keskeisellä sytytystulpan sijoituksella saadaan aikaan palorintaman nopea eteneminen koko palotilaan. Palotilan tulisi olla mitoiltaan kompakti, eli pinta-alan suhde tilavuuteen tulisi olla pieni. /1, s. 536./

4.2 Ajoneuvon kiihtyvyys

Kiihtyvyys on kappaleen nopeuden muutosta tiettyä aikayksikköä kohti. Autojen keskuudessa kiihtyvyydestä puhutaan yleensä silloin, kun ilmoitetaan jokin tietty aika, joka on käytetty auton kiihdyttämiseen nolasta sataan kilometriä tunnissa. Esimerkiksi nykypäivän urheiluautoilla 0-100 kilometriä tunnissa kuluu aikaa noin 5 sekuntia. Toisaalta taas tavallinen perheauto kiihtyy esimerkiksi nolasta sataan noin 8 sekunnissa. Äskeiset arvot olivat hypoteettisia, ja erilaisia kiihtyvyyksiä on yhtä paljon kuin erilaisia autojakin.

Projektiauton kiihtyvyyden tutkimisessa käytettiin apuna Racelogicin Vbox-II -mittauskalustoa. Sen teho perustuu äärimmäisen tarkkaan satelliittipaikannukseen. Nopeuden se pystyy mittaamaan 0,2 kilometriä tunnissa tarkkuudella ja kuljetun matkan mittaustarkkuus on 0,05%, mikä tarkoittaa alle 50 senttimetrin virhettä kilometrillä. Sijainnin määrittäminen onnistuu alle 1,8 metrin tarkkuudella absoluuttisesta sijainnista, ja kiihtyvyyksmittauksen virhe on korkeintaan prosentti todellisesta kiihtyvyydestä.

Mittaukset suoritettiin mahdollisimman tyynellä säällä ja mahdollisimman tasaisella alustalla. Näillä seikoilla pyrittiin eliminoimaan mahdollisia virhetekijöitä, kuten ilmanvastusta ja nousuvastusta. Kiihtyvyydet 0-100 km/h mitattiin neljä kertaa peräkkäin ja tuloksista laskettiin keskiarvo. Seuraavalla sivulla näkyy kaavio, jossa ilmenee projektiauton kiihtyvyys nolasta sataan kaasuttimen kanssa.



KUVIO 10. Ajoneuvon kiihtyvyys kaasuttimella

Kuten kuviosta 10 voi lukea, projektiauto kiihtyi keskimääräisesti 0-100 km/h vähän reilussa 11 sekunnissa. Tehtaan ilmoittama arvo kyseiselle autolle on 10,4 sekuntia. Ero tehtaan arvoon johtuu varmaankin mittauksissa olevista epätarkkuuksista. Esimerkiksi tien pinta oli osittain märkä, mikä aiheutti ainakin liikkeelle lähdössä pito-ongelmia.

5 MEGASQUIRTIN ASENNUS

Koska kohdeauto oli aiemmin varustettu kaasuttimella, suihkutussysteemiä varten oli tehtävä muutostöitä. Muutostöiden kohteena oli mekaanisten osien ja sähköjärjestelmän muuttaminen ruiskulle sopiviksi. Muutostöissä pyrittiin etsimään valmiita ratkaisuja mahdollisimman pitkälle. Tällä tavoin saatiin aikataulu ja kustannukset pienemmiksi.

5.1 Mekaaniset muutokset

Mekaaniset muutokset koskivat muun muassa imusarjaa, polttoainesäiliötä, ilman-suodatinta, imuilmaputkea ja polttoainepumppua. Muutostyöt aloitettiin purkamalla ensin kaasutin ja vanha imusarja pois. Polttoaineen suihkutukselle tarkoitetut varusteet löytyivät Opelin C24NE-moottorista. Koska moottorissa on samanlainen sylinterinkansi kuin projektiautossa, imusarjan sai asennettua kanteen ilman rakenteellisia muu-

toksia. Alapuolella olevassa kuvassa 11 näkyy osa ajoneuvoon asennettavista osista. Kuvassa vasemmalla on Megasqurt ja keskimmäisenä ruiskun imusarja, jossa on polttoaine kisko ja suuttimet paikoillaan. Takana oikealla näkyy rele- ja sulaketaulu, joka helpottaa johtosarjan tekoa.



KUVA 11. Ajoneuvoon asennettavia osia

Imusarjan lisäksi autoon oli asennettava kampiakselin päähän niin sanottu triggeripyörä, jonka avulla Megasquirt saa tiedon moottorin pyörintänopeudesta ja kampiakselin asemasta. Auton polttoainelinjastoon oli myös tehtävä muutoksia. Auton alle asennettiin toinen polttoainelinja polttoaineen paluukiertoa varten. Lisäksi alkuperäinen polttoainepumppu oli vaihdettava sähköiseen ja tehokkaampaan polttoainepumppuun. Polttoainepumpuksi valikoitui Walbron polttoainelinjaan asennettava pumppu, jossa vapaatuotto on 280 litraa tunnissa. Polttoainepumpun sijoitus oli helppo tehdä tankin läheisyyteen takakonttiin, koska tankkikin sijaitsi kontissa. Polttoaineen tulolinjaan oli asennettava lisäksi ruiskutusmallinen polttoainesuodatin. Polttoainetankkiin oli tehtävä ylimääräinen liityntä polttoaineen paluulinjaa varten. Paras paikka tässä tapauksessa oli polttoaineen täyttöputki tankin läheltä, koska siinä oli hyvin tilaa liitynnälle.

Imusarjan asennuksen jälkeen siihen oli vedettävä tarvittavat alipaineletkut. Letkuja tarvitsi muun muassa kaasuläpän ohittavalle joutokäyntiventtiilille. Venttiili on tässä tapauksessa päälle/pois-tyyppinen venttiili. Jousikuorma sulkee venttiilin ja ohjausvirta pitää venttiiliä auki joutusta vastaan. Lisäksi alipaineletkuja piti vetää jarrutehostimelle, kampikammion huuhotusjärjestelmälle, polttoaineen paineensäätimelle ja imusar-

jan painetunnistimelle. Imusarjan painetunnistin on juotettu Megasquirtin piirilevyyn kiinni, joten alipaineletku oli vedettävä matkustamon puolelle.

Kaasuläppärunkoon oli tehtävä sopivan mallinen imuputki, johon oli hitsattava mutteri kiinni imuilman lämpötilatunnistimelle. Imuputken päässä on helpointa käyttää hyvin hengittävää kartiomallista ilmansuodatinta. Tässä vaiheessa auton omalle sytytysjärjestelmälle ei tehty muutoksia projektin aikataulusta ja budjetista johtuen. Sytytysjärjestelmä on jälkikäteen muutettavissa Megasquirtin ohjattavaksi suhteellisen helposti.

5.2 Johtosarja

Koska autossa oli alun perin kaasutin, ei polttoaineen suihkutusjärjestelmälle ollut valmiina olemassa sähköjohtoja. Johtojen paksuudet mitoitettiin siten, että hieman alle 20 ampeeria virtaa vieville toimilaitteille vedettiin 1,5 neliömillimetrin paksuista johtoa. Tällaisia laitteita olivat muun muassa polttoainepumppu ja joutokäyntiventtiili. Lisäksi Megasquirtin päävirtajohto ja maajohto ovat saman paksuisia kuin ylempänä mainittiin.

Kaikki signaalijohdot ja maksimissaan 10 ampeerin varmuusnimellisarvolliset laitteet ovat johdotettu 0,75 neliömillimetrin paksuisella johdolla. Tämän paksuiset johdot eivät ole yksinään vedettynä mekaanisilta ominaisuuksiltaan tarpeeksi lujia, jolloin johdot on vedettävä suurempaan nippuun.

Johtimet ovat mitoitettu käyttäen hyväksi alapuolella olevaa taulukkoa 1. Mitoitusta varten oli selvitettävä sähkönkuluttajien virranvoimakkuus ja johtimien paksuudet valittiin varmuusnimellisarvo-sarakkeen mukaisesti.

TAULUKKO 1. Sulamisvarmuuden tyypilliset varmuusarvot ajoneuvojohtimille

/1, s. 978/

Pätee sinkittämättömälle, PVC-eristetyille, yksijohtimiselle FLY- tai FLRY-johtimelle alle 105 °C lämpötilassa ympäristön lämmön ollessa alle 70 °C.

| Johtimen poikkileikkauspinta-ala mm ² | Varmuusnimellisarvo A | Jatkuva kestovirta A |
|---|--------------------------|-------------------------|
| 0,35 | 5 | 4 |
| 0,5 | 7,5 | 6 |
| 0,75 | 10 | 8 |
| 1 | 15 | 12 |
| 1,5 | 20 | 16 |
| 2,5 | 30 | 24 |
| 4 | 40 | 32 |
| 6 | 50 | 40 |
| 10 | 70 | 56 |
| 16 | 100 | 80 |
| 25 | 125 | 100 |
| 35 | 150 | 120 |
| 50 | 200 | 160 |
| 70 | 250 | 200 |

Uudet johdot ovat vedetty nipussa vanhan johtosarjan viereen, joka helpottaa mahdollisia korjaus-, vianhaku- ja purkutoimenpiteitä. Polttoainepumpulle johdot on vedetty korin vasenta laitaa myöden, jossa kulkee myös alkuperäinen johtosarja takakonttiin. Konehuoneeseen tarvittavat johtimet on vedetty yhdestä läpiviennistä tulipellin läpi.

Johtosarjan tekemisessä hyödynnettiin ylimääräistä johtosarjaa Opelin C24NE-moottorista. Ylimääräisestä johtosarjasta otettiin talteen tarvittavat liittimet ja häiriösuojatun johdon kampiakselin asentotunnistinta varten. Johtosarjaan liitetyt liittimet ovat kiinnitetty juottamalla ja suojattu kutistesukalla epäpuhtauksia varten. Hyvät kontaktit ja liittimen puhtaus lisäävät järjestelmän toimintavarmuutta. Kampiakselin asentotunnistimen toiminta perustuu muuttuvaan reluktanssiin. Jotta moottorinohjaukselle saadaan hyvin tulkittava häiriötön signaali, on estettävä signaalihohtimeen indusoituvat häiriövirrat. Tämä onnistuu käyttämällä suojattua johdinta, jossa on maadoitettu metallisukka ympärillä.

Johtosarjan johdot on tarkoituksen mukaista tehdä juuri sopivan mittaisiksi ja maajohdot mahdollisimman lyhyiksi. Tällä vähennetään pitkissä johtimissa ominaista jännitehäviön syntyä.

6 MEGASQUIRTIN SÄÄTÄMINEN MEGATUNE-OHJELMALLA

Megasquirtin säätämiseen valittiin Megatune-ohjelma, koska se on yksi tähän tarkoitukseen eniten käytetyistä ohjelmista. Megatune on alati päivittyvä ja ilmaiseksi Internetistä ladattava ohjelma. Myös Megatunen valikot todettiin selkeämmiksi verrattuna esimerkiksi TunerStudio-ohjelmaan.

6.1 Perussäädöt

Säätäminen oli parhaita aloittaa asettamalla pysyville arvoille parametrit. Ohjelmassa on toiminto, jonka avulla lasketaan tarvittava polttoainemäärä. Ohjelmaan syötetään tiedot moottorin iskutilavuudesta, suuttimien virtauskapasiteetista ja halutusta seossuhteesta. Tämän lisäksi niin sanottuihin moottorikohtaisiin vakioihin kuuluu myös sylintereiden lukumäärä, suuttimien lukumäärä, moottorin tahtisuus ja sytytysväli. Tässä yhteydessä valitaan myös se, suihkuttavatko suuttimet samanaikaisesti vai jaksottaisesti, ja se, kuinka monta suihkutusta koko moottorin työkierron aikana tapahtuu.

Moottorikohtaisten vakioiden jälkeen suuttimien toimintaa säädettiin tarkemmin. Suuttimien ohjaus on jaettu kahteen suutinryhmään, joita voidaan ohjata erikseen. Tässä tapauksessa valittiin asetukseksi, että kaikkia suuttimia ohjataan samoilla parametreilla.

Suuttimien aukeamisajaksi säädettiin 1 millisekunti, joka on useimmissa tapauksissa sopiva arvo. Lisäksi akkujännitteen aleneminen otettiin huomioon ja korjausarvoksi asetettiin 0,2 millisekunnin pidennys aukioloaikaan jokaista alenevaa voltia kohti. Matalan impedanssin omaaville suuttimille voidaan asettaa virranrajoitus, joka toteutetaan pätkimällä aukeamispulssia sopivassa tahdissa. Tässä tapauksessa asetukset valittiin niin, että rajoitusta ei tapahdu. Kohdeautossa suuttimien impedanssi on noin 17 ohmia, joka on sen verran korkea, että rajoitusta ei tarvita.

Megasquirt saa riittävän kierrosnopeustiedon puolan miinusnavalta, mikäli ohjataan pelkästään polttoaineen syöttöä. Sytytyksen ohjausta silmällä pitäen kierrosnopeustieto otettiin kuitenkin kampiakselin päästä. Kampiakselin päässä on niin sanottu 60-2 tyyppinen hammaspyörä, jossa on 58 todellista hammasta ja 2 puuttuvaa hammasta. Megatunen sytytysjärjestelmän asetuksista valittiin vaihtoehdoksi toothed wheel. Lisäksi oli selvitettävä, minkä hampaan kohdalla anturi on, kun sylinteri numero yksi on yläkuolokohdassaan. Hampaan sijainti oli ilmoitettava ohjelmalle asteina ja tässä tapauksessa 114 astetta oli oikea arvo.

Seuraavaksi kalibroitiin lämpötila-anturit ja kaasuläpän asentotunnistin. Lämpötila-antureista mitattiin kolmessa eri lämpötilassa vastusarvot ja ne syötettiin ohjelmaan. Ohjelma laski tämän jälkeen antureille automaattisesti loput arvot. Kaasuläpän asentotunnistin kalibroitiin mittaamalla anturin läpi kulkevan virran arvo kaasuläppä kiinni ja täysin auki. Tämä onnistui ohjelmaan rakennetun ominaisuuden avulla ilman erillisiä mittalaitteita.

Megatune-ohjelmassa on olemassa säätöparametrin myös kylmäkäynnistysventtiilille. Koska kohdeautossa on päällä/pois-tyyppinen venttiili, ei säätömahdollisuuksiakaan ollut paljon. Ainoat säätöparametrit olivat, että venttiili sulkeutuu yli 60 celsiusasteessa. Sulkeutumisen yhteyteen säädettiin kolmen celsiusasteen hystereesi, jotta välttyään siltä, että venttiili muuttaa asentoaan koko ajan rajalämpötilan läheisyydessä.

Perussäätöjen ohella Megatunessa on olemassa polttoaineensyöttöön liittyviä säätöjä, jotka vaikuttavat ajoneuvon käynnistymiseen. Pakkaskелеissä ja kylmissä ilmasto-olosuhteissa vallitsevien säätöjen toimivuutta ei nyt päästy kokeilemaan. Säädot 10 celsiusasteesta ylöspäin saatiin testattua käytännössä toimiviksi.

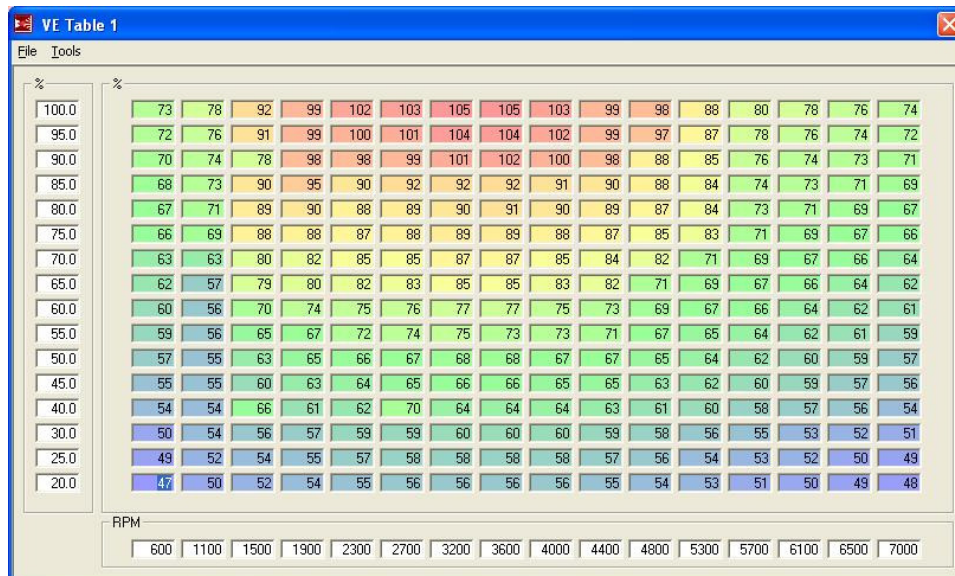
Jäähdytysnesteen lämpötilan ollessa esimerkiksi 20 celsiusastetta valittiin 251 prosenttia alkuperäistä leveämpi suuttimen ohjauspulssi käynnistymisen ajaksi. Saman lämpötilan vallitessa valittiin lämpimäksikäyttörikastuksen arvoksi 120 prosenttia. Näiden rikastuksien lisäksi Megatunella voi säätää käynnistymisen jälkeistä rikastusta. Rikastuksen määrää voi säätää niin ikään prosentteina ja kestoa käynnistymisen jälkeisinä kampiakselin pyörähdyksinä.

6.2 Polttoainekartta ja siihen vaikuttavat tekijät

Megatune-ohjelmassa on toiminto, johon syötetään auton moottorin iskuilavuus, joutokäyntikierrokset, paras vääntömomentti ja sen kierrosalue, huipputeho ja sen kierrosalue ja maksimikierrokset. Näiden lähtötietojen pohjalta Megatune luo alustavan polttoainekartan. Tämä kartta on hyvä pohja tarkempaan säätämiseen. Tässä tapauksessa alkuperäinen kartta todettiin sellaisenaan käyttökelpottomaksi.

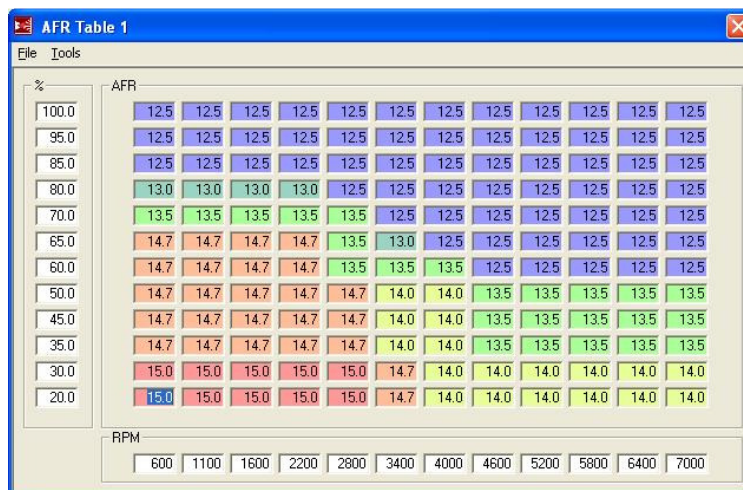
Polttoainekartan säätämistä varten hankittiin laajakaistalamda-anturi ja mittari, joiden avulla näkee seossuhteen ja sen, kuinka paljon se on pielessä. Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 12 näkyy paremmaksi säädetty polttoainekartta. Tämäkin kartta on tosin säädetty vasta osittain, eikä ole paras mahdollinen kaikissa käyttötilanteissa.

Karttaa säädettiin siten, että ajon aikana tarkkailtiin, mikä kartan osa on milloinkin käytössä. Samalla katsottiin seossuhdemittarin lukemaa ja tehtiin kartan arvoa muuttamalla tarpeelliset korjaukset. Parhaan säätötuloksen saisi moottoridynamometrissä, jota ei nyt kuitenkaan ollut käytettävissä.



KUVA 12. Ajoneuvon polttoainekartta

Megatunessa pystyy luomaan myös seossuhdekartan, joka korjaa polttoainekartan arvoja haluttuun suuntaan annettujen säätöparametrien puitteissa. Tämä toiminto edellyttää, että laajakaistalambda-anturi on takaisinkytketty moottorinohjaukseen. Tässä tapauksessa säädöt toteutettiin siten, että moottorin suuremmilla kuormitusasteilla valittiin hieman rikas seos ja pienillä kuormituksilla taas hieman laiha seos.



KUVA 13. Seossuhdekartta

Yläpuolella olevassa kuvassa 13 kartan alapalkki kuvaa moottorin kierroslukua. Vasemmalla oleva palkki kuvaa moottorin kuormitusastetta. Kartassa olevat luvut kuvaavat ilmapolttoainesuhdetta, eli luku 14,7 tarkoitti lambdan arvoa yksi. Sitä pienemmät lukemat tarkoittavat siis rikkaan puolelle menemistä ja päinvastoin.

Takaisinkytkettyä seossuhteen säätöä varten oli asetettava parametreja, jotka määrittivät lambdan toimintaa. Megatunella voi säätää, kuinka monta sytytystapahtumaa on lambdasäätöjen välissä. Tämä vaikuttaa säätöherkkyyteen. Säätöherkkyys laitettiin tässä tapauksessa neljään kertaan sekunnissa 2500 kierroksen kohdalla. Lisäksi säädön suuruuden määrän voi asettaa myös, ja tähän kohtaan laitettiin säädön tapahtuvan prosentin suuruisilla harppauksilla. Pienet arvot tässä kohtaa vakauttavat säätötapahtumaa, ja näin ollen vältetään liian radikaaleilta muutoksilta.

Megatunella voi myös määrittää reunaehdoja, milloin takaisinkytketty lambdasäätö on voimassa. Reunaehdoiksi laitettiin, että jäähdytysnesteen lämpötilan on oltava yli 70 celsiusastetta, moottorin kierrosluvun tulee olla yli 1000 kierrosta minuutissa ja kaasuläpän tulee olla alle 80 prosenttia avautuneena. Näiden lisäksi määritettiin, että takaisinkytketty säätö toimii, kun imusarjan alipaine on välillä 90–20 kilopascalina. Näillä asetuksilla haluttiin rajata lambdasäätö pois joutokäynnillä, kylmällä moottorilla ja kiihdyttäessä ajoneuvoa voimakkaasti.

Megatunessa on säätömahdollisuus myös erilliselle kiihdytysrikastukselle. Rikastuksen laskentaperusteen voi valita joko täysin imusarjan alipaineen muutokseen perustuvaksi tai kaasuläpän asennon muutoksene perustuvaksi. Lisäksi on mahdollista valita molemmat laskentaperusteet missä suhteessa tahansa. Tässä projektissa valittiin laskentaperusteeksi 60 prosenttisesti kaasuläpän asennon muutos ja 40 prosenttisesti imusarjan alipaineen muutos.

Muutosnopeutta kuvataan kaasuläpän osalta prosentteina sekunnissa. Koska kaasuläpän asentotunnistimelle syötetään viiden voltin vertailujännite, tämä tarkoittaa sitä, että 20 prosentin muutos vastaa noin yhden voltin muutosta. Tällä muutosnopeudella kaasu painettaisiin täysin pohjaan viidessä sekunnissa. Imusarjan alipaineen muutosta kuvataan alipaineen muuttumista kilopascaleina sekunnin aikana.

Kumpaankin laskentaperusteeseen on mahdollista syöttää neljä eri muutosnopeuden arvoa ja kuhunkin arvo millisekunteinä, kuinka paljon suuttimien pulssin leveyttä kasvatetaan. Lisäksi on mahdollista määritellä raja, jonka jälkeen kiihdytysrikastus astuu voimaan. Tässä tapauksessa laitettiin kaasuläpän asennon muutokselle rajaksi 30 prosenttia sekunnissa. Liian pieni raja-arvo aiheuttaa turhan herkin reagoinnin ja ei toivotun kiihdytysrikastuksen.

7 MEGASQUIRTIN VAIKUTUKSET AJONEUVON OMINAISUUKSIIN

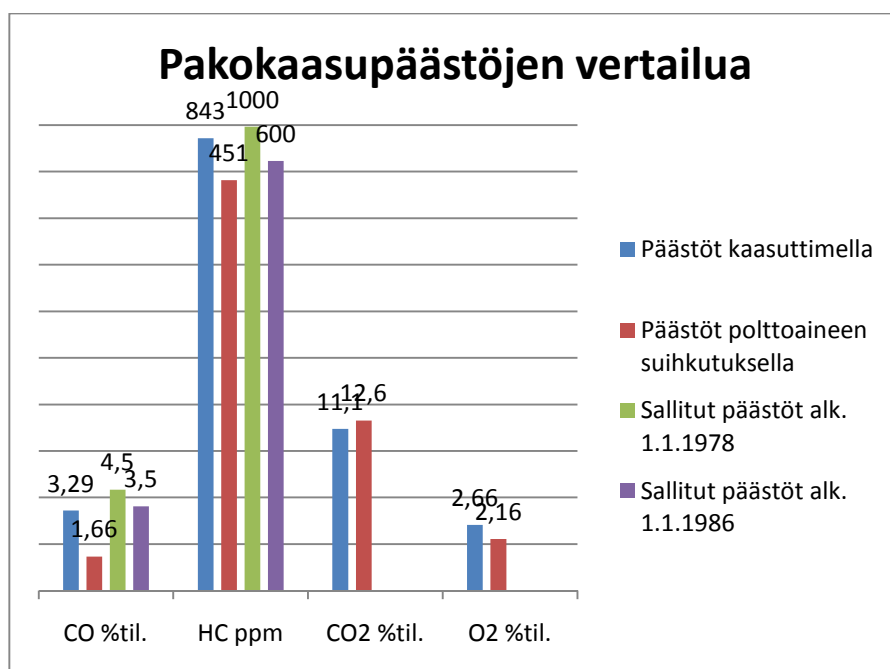
Tässä osiossa vertaillaan Megasquirtin vaikutuksia ajoneuvon aikaisempiin ominaisuuksiin. Jo koeajojen aikana huomattiin, että ajoneuvo vastasi kaasuun aikaisempaa paremmin ja moottorin kierrokset kasvoivat ilman aikaisemmin esiintynyttä hetkellistä viivettä. Myös pakokaasujen aistienvarainen tutkiminen antoi viitteitä haittapäästöjen pienenemisestä.

7.1 Pakokaasupäästöt

Aikaisemmat olettamukset päästöjen vähenemisestä vahvistui, kun pakokaasumittaus suoritettiin muutostöiden jälkeen uudelleen. Liitteestä 2 voi havaita, millä osa-alueilla päästöt ovat vähentyneet. Karkeasti voisi todeta, että hiilimonoksidipäästöt putosivat 50 prosenttia aiemmasta 3,29 tilavuusprosentista. Uusi mitattu arvo on 1,66 tilavuusprosenttia. Hiilivetypäästöt putosivat myös noin 53 prosenttia. Uudella mittauksella ne olivat 451 ppm aiemman 843 ppm sijaan.

Pakokaasumittauksessa näkyvät myös niin sanotun jälkihapen ja hiilidioksidin määrä. Näihin päästökomponentteihin ei juuri voi vaikuttaa pelkästään polttoaineen suihkutuksella ja sen säätämällä. Jälkihapen määrän voi karkeasti todeta pysyneen samana hieman päälle kahdessa tilavuusprosentissa. Tähän päästökomponenttiin voi vaikuttaa parhaiten huolehtimalla pakoputkiston riittävästä tiiviyydestä. Hiilidioksidin maksimimäärään pakokaasuissa vaikuttaa eniten moottorin iskutilavuus ja moottorissa poltettu polttoainemäärä. Hiilidioksidipäästöjen hienoinen kasvu 11,10 tilavuusprosentista 12,6 tilavuusprosenttiin selittyy osittain hiilimonoksidin vähenemisestä. Hiilimonoksidia on muuttunut hiilidioksidiksi täydellisemmän palamisen seurauksena.

Äskeisiä havaintoja tukee myös seuraavalla sivulla oleva kuvio 14. Kuviosta voi myös todeta, että polttoaineen suihkutustekniikalla mitatut arvot alittavat myös seuraavan 1.1.1986 voimaan tulleen päästöluokan vaatimukset. Tässä päästöluokassa hiilimonoksidin sallittu raja-arvo on 3,5 tilavuusprosenttia ja hiilivetyjen sallittu enimmäispitoisuus on 600 ppm.



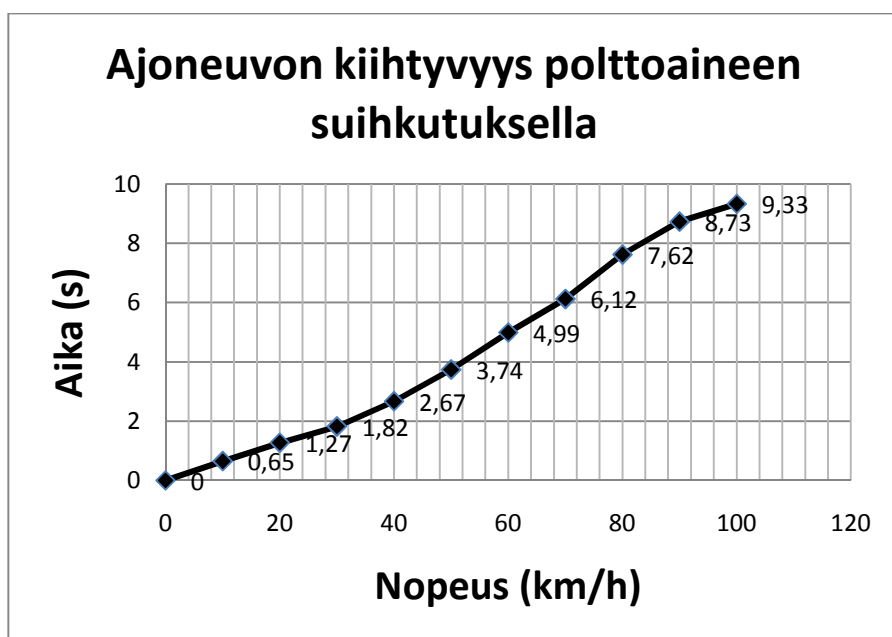
KUVIO 14. Graafinen vertailu pakokaasupäästöjen muutoksesta

7.2 Ajoneuvon kiihtyvyys

Ajoneuvon kiihtyvyys parani mittausten mukaan ja kiihtyvyyden paranemisen huomasi myös ajon aikanakin. Kiihtyvyyssmittaukset suoritettiin samalla menetelmällä kuin aiemmatkin mittaukset kaasuttimen kanssa. Neljän mittaustuloksen keskiarvona auto kiihtyi 0-100 km/h 9,33 sekunnissa.

Seuraavalla sivulla olevasta kuviosta 15 näkyy ajoneuvon kiihtyvyys polttoaineen suihkutuksella varustettuna. Kiihtyvyyssäikäyrä kasvaa loivemmin kuin aiempana mitattu. Tämä kertoo moottorin parantuneista teho- ja vääntöarvoista. Moottorinohjauksen säädöillä ei niinkään voi vaikuttaa kierrosalueeseen, jossa huipputeho ja paras vääntömomentti esiintyvät vaan siihen, kuinka paljon esimerkiksi tehoa saadaan parhaalla kierrosalueella.

Tässä tapauksessa imusarjan vaihdos saattoi vaikuttaa muun muassa parhaan vääntömomentin kierrosalueeseen ja sitä kautta myös kiihtyvyyteen. Opelin C24NE-moottorin imusarjassa imuputket ovat muun muassa yhtä pitkät, kun taas kaasuttimella varustetussa moottorissa sylintereiden yksi ja neljä imukanavat ovat pidemmät kuin sylintereiden kaksi ja kolme. Tämä vaikuttaa oleellisesti moottorin kaasunvaihtoon.



KUVIO 15. Ajoneuvon kiihtyvyys muutostöiden jälkeen

8 POHDINTA

Työn tarkoituksena oli tutkia, miten vahan harrasteauton ominaisuudet muuttuvat, kun siihen asentaa kaasuttimen tilalle polttoaineen suihkutusrakenteen ja ohjelmoitavan moottorinohjauksen. Etukäteen oli aavistus siitä, mihin suuntaan esimerkiksi päästöt muuttuvat. Työn alussa tapahtunut tutustuminen yleisimpiin polttoaineen suihkutusrakenteisiin auttoi projektin läpiviennissä.

Tämänkaltaisen projekti onnistuu mihin tahansa kaasuttimella varustettuun moottoriin, oli kyseessä sitten vaikka veneen moottori. Projektin tarkoitus oli parantaa kaasuttimen huonoa säädettävyyttä ja muunneltavuutta erilaisten tarpeiden mukaiseksi. Projektin tuloksista voisi päätellä, että kaasuttimen korvaaminen polttoaineen suihkutuksella pienentää päästöjä ja parantaa tehoa joka tilanteessa. Tässä projektissa käytettiin suhteellisen valmiita osia, ja sen takia projekti sisälsi vähän osien muokkaamista tai tekemistä. Aikataulun ja budjetin salliessa on mahdollista kasata toimiva polttoaineen suihkutusrakenne myös ilman valmiiksi sopivia osia.

Tässä työssä kohdeauton moottorinohjausrakenteeksi asennettiin Megasquirt. Asennukset suoritettiin siten, että moottorinohjaus huolehtii tällä hetkellä vain polttoaineen syötöstä. Sytytys hoidetaan auton omalla järjestelmällä. Asennukset toteutettiin kuitenkin siten, että sytytyksen ohjaus on mahdollista lisätä jälkikäteen kohtalaisen

pienillä muutostöillä. Onnistunut sytytyksen ohjaus parantaa myös selkeästi ajoneuvon ominaisuuksia verrattuna mekaaniseen sytytysjärjestelmään.

Ajoneuvon ominaisuuksien osalta työssä tutkittiin kiihtyvyyttä ja pakokaasupäästöjä. Päästöjen tutkimiseen pakokaasuanalysaattori oli tämän projektin osalta tarkoituksen mukaisin tapa. Pakokaasuanalysaattorin avulla haittapäästöistä selviää vain hiilimonoksidi ja hiilivedyt. Pakokaasuissa olevan typenoksidien määrää ja sen muutosta olisi ollut mielenkiintoista tarkastella. Tarkempiin tuloksiin olisi päästy niin sanotulla pussitestillä, jossa ajosyklin pakokaasut kerätään talteen analysointia varten.

Kiihtyvyyden mittaamiseen paras vaihtoehto oli käyttää Racelogic Vbox -laitetta. Kiihtyvyyssmittauksista olisi toki saanut luotettavimpia lisäämällä mittauskertojen lukumäärää. Suurin virheenaiheuttaja oli näissä mittauksissa kulloinkin vallitsevat sääolosuhteet. Muita mielenkiintoisia tutkittavia ominaisuuksia olisi ollut tehon muutos ja polttoaineen kulutuksen muutos. Tämän projektin puitteissa ei ollut kuitenkaan sopivia mittalaitteita saatavana.

Tehon mittaukseen olisi käynyt muun muassa tehodynamometri. Tehodynamometrin ohella vaihtoehtona olisi ollut käyttää Racelogicin Performancebox -laitetta, joka mittaa tehon myös suhteellisen tarkasti. Polttoaineen kulutusta olisi voinut tarkastella muun muassa polttoainelinjoihin asennettavilla virtausmittareilla. Syöttölinjan ja paluulinjan virtausten erotuksesta olisi ollut tutkittavissa poltettu polttoainemäärä. Tässä työssä polttoaineen kulutuksen tutkiminen jäi aistinvaraisten havaintojen varaan. Tuntuma on kuitenkin se, että polttoaineen kulutus väheni hieman.

Polttoaineen kulutukseen vaikuttaa suurelta osin se, halutaanko polttoainekartta säätää taloudellisuutta vai tehoa silmällä pitäen. Seossuhdemittaria tarkkailtaessa ajon aikana kävi selväksi se, että osakuormilla moottori kävi hieman laihalla. Kuormitettaessa moottoria esimerkiksi ajamalla ylämäkeen ja pitäessä moottorin vääntömomenttitoive samana moottorinohjaus sääteli seoksen hieman rikkaalle. Tällaisilla säädöillä saadaan polttoaineen kulutusta vähennettyä ajo-ominaisuuksien siitä kuitenkin kärsimättä.

Haitallisten pakokaasupäästöjen väheneminen puoleen on merkki siitä, että vanhan harrasteauton saa kohtalaisen helposti täyttämään paremmin nykypäivän päästö määräyksiä. Polttoaineen suihkutusalusta ja elektroninen moottorinohjaus ovatkin vaa-

timuksia esimerkiksi käytettäessä katalysaattoria. Päästöjen vähentäminen lisää edellyttäisi pakokaasujen jälkikäsitteilyn lisäämistä. Lisäksi moottorin suunnittelulla on iso merkitys seoksenmuodostuksen ja kaasunvaihdon tehokkuuden osalta. Nämä ovat myös seikkoja, jotka vaikuttavat päästöjen muodostumiseen.

Polttoaineen suihkutuslaitteisto yksinään ei riitä takaamaan hyviä tuloksia. Moottorinohjauksen onnistuneet säädöt ovat merkittävässä asemassa tulosten saamiseksi. Ainakin Megatunella säätäminen oli suhteellisen helppoa, koska Megatune laski karkeat esisäädöt valmiiksi annettujen parametrien mukaisesti. Esisäädöistä oli helppo lähteä hiomaan parempia asetuksia. Moottoridynamometrin ja pakokaasuanalysaattorin kanssa yhdessä saisi muun muassa polttoainekartan säädettyä niin hyväksi kuin olisi mahdollista.

Projektissa olisi ollut mielenkiintoista tutkia myös ääri-ilmasto-olosuhteiden vaikutusta itse asennetun polttoaineen suihkutuslaitteiston toimintaan. Vertailukohtana olisi voinut olla se, olisiko käynnistyvyys ja toimintavarmuus ollut parempi Megasquirtin kuin kaasuttimen kanssa. Megatunessa on kattavat säädöt myös esimerkiksi -40 celsiusasteen olosuhteita varten. Näiden säätöjen asettaminen ja moottorin toiminnan tutkiminen näissä lämpötiloissa olisi edellyttänyt kylmälaboratorion käyttömahdollisuutta.

Työn alussa tavoitteena oli saada vanha auto ominaisuuksiltaan paremmaksi. Lisäksi tarkoitus oli saada haitallisia päästöjä vähennettyä. Tämän projektin toteutuksessa kummatkin tavoitteet täyttyivät melko hyvin. Parasta on se, että päästöt pienenevät ilman heikentävää vaikutusta johonkin toiseen ajoneuvon ominaisuuteen.

LÄHTEET

1 Robert Bosch GmbH, Autoteknillinen taskukirja, 6.painos. Jyväskylä: Gummerus Oy 2002.

2 Alfamer Oy, Auton sähkövarusteet. Helsinki: Alfamer Kustannus Oy 2003.

3 Haynes, Automotive engine managment and fuel injection systems manual. England: Haynes Publishing 1997.

4 Juhala, Matti & Lehtinen, Arto & Suominen, Matti ym., Moottorialan sähköoppi. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy 2005.

5 Megasquirt 2011. Yrityksen www.sivut. <http://megasquirt.info>. Päivitetty 20.2.2011. Luettu 27.3.2011.

Päästötestin tuloste kaasuttimella

Päästötestin tuloste

Päiväys: 08.03.2011 12:47:07

| | | | | | |
|--------------------------------|------------|-----------------------|----------------------------|-------------|-------|
| Mikkelin Ammattikorkeakoulu Oy | | Autolaboratorio | | | |
| Raviradantie 4 - 6 | | Puh.: | | | |
| 50100 MIKKELI | | Faksi: | | | |
| Mittausohjelma: | Ei KAT | Polttoaine: | Bensiini | | |
| Ajoneuvon tiedot | | | | | |
| Rekisteritunnus: | | Ajoneuvon valmistaja: | Opel | | |
| Ensikäyttöönotto: | 10.1.1979 | Ajoneuvon tyyppi: | Ascona | | |
| Testitulokset | Yksikkö | Ohjearvo Min. | Ohjearvo Maks. | Mitta-arvot | Tulos |
| Silmämääräinen tarkastus | | | | | # ok |
| Valmistelu | | | | | |
| Moottorin lämpötila | | | Käyntilämpötila saavutettu | | # ok |
| Joutokäyntipyörintänopeus | | | | | |
| Pyörintänopeus | 1/min | 550 | 1000 | 950 | |
| CO | % til. | | 4.5 | 3.29 | ok |
| HC | ppm | | 1000 | 843 | ok |
| CO2 | % til. | | | 11.10 | |
| O2 | % til. | | 5 | 2.66 | ok |
| COcorr | % til. | | | 3.43 | |
| Tulos | | | | | |
| Päästötesti | Hyväksytty | | | | |
| # Annettu tieto | | | | | |
| Testaaja: Leo Kervinen | | | | | |

| | | | | |
|-------------------------------|----------------|---------------|-------------|-------------------|
| Allekirjoitus | | Leima | | |
| Ohjelmistoversio | Nimitys | Versio | Tila | Valmistaja |
| Pakokaasuanalysointori | AVL DiX OM-FI | V1.2 | 06/2010 | AVL DiTEST GmbH |
| | AVL DiGas 480 | V1.0 | 06/2009 | AVL DiTEST GmbH |

Päästötestin tuloste suihkutusjärjestelmällä

Päästötestin tuloste

Päiväys: 19.05.2011 12:28:26

| | | | | | |
|---|------------|------------------------------------|----------------------------|-------------|--------|
| Mikkelin Ammattikorkeakoulu Oy Raviradantie 4 - 6 50100 MIKKELI | | Autolaboratorio Puh.: Faksi: | | | |
| Mittausohjelma: | Ei KAT | Polttoaine: | Bensiini | | |
| Ajoneuvon tiedot | | Ajoneuvon valmistaja: | | | Opel |
| Rekisteritunnus: | | Ajoneuvon tyyppi: | | | Ascona |
| Ensikäyttöönotto: | 10.1.1979 | | | | |
| Testitulokset | Yksikkö | Ohjearvo Min. | Ohjearvo Maks. | Mitta-arvot | Tulos |
| Silmämääräinen tarkastus | | | | | # ok |
| Valmistelu | | | | | |
| Moottorin lämpötila | | | Käyntilämpötila saavutettu | | # ok |
| Joutokäyntipyörintänopeus | | | | | |
| Pyörintänopeus | 1/min | 550 | 1000 | 570 | |
| CO | % til. | | 4.5 | 1.66 | ok |
| HC | ppm | | 1000 | 451 | ok |
| CO2 | % til. | | | 12.60 | |
| O2 | % til. | | 5 | 2.16 | ok |
| COcorr | % til. | | | 1.75 | |
| Tulos | | | | | |
| Päästötesti | Hyväksytty | | | | |
| # Annettu tieto | | | | | |
| Testaaja: Timo Viljakainen | | | | | |

| | | | | |
|------------------------|---------------|--------|---------|-----------------|
| Allekirjoitus | Leima | | | |
| Ohjelmistoversio | Nimitys | Versio | Tila | Valmistaja |
| Pakokaasuanalysointila | AVL DiX OM-FI | V1.2 | 06/2010 | AVL DiTEST GmbH |
| | AVL DiGas 480 | V1.0 | 06/2009 | AVL DiTEST GmbH |